中国生态农业学报 2016 年 3 月 第 24 卷 第 3 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Mar. 2016, 24(3): 325−334
ChinaXiv合作期刊

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151091

基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析*

——以成都市龙泉驿区为例

任 平 吴 涛 周介铭

(西南土地资源评价与监测教育部重点实验室/四川师范大学国土资源开发与保护协同创新中心 成都 610066)

摘 要 耕地资源是人类生存和发展的基础性资源，科学判定耕地空间分布格局及其变化特征，对促进耕地保护及空间优化布局等方面具有重要意义。本文利用四川省成都市龙泉驿区 2005 年、2009 年及 2013 年土地利用数据提取耕地数据，运用核密度计算、耕地集中度指数、空间自相关等研究方法开展耕地空间分布格局及其变化特征研究。研究结果表明：1)2005—2013 年龙泉驿区耕地空间分布密度呈现出集聚态势，耕地整体呈现出西北及北部密集、中部及南部稀疏的空间分布特征，其中耕地分布密度高值区域呈现出由西北向西南扩张的趋势，低值区域则以城镇为中心有零星扩散的情况。2)从耕地面积分布情况来看，整体呈现出北高南低的空间分布特征，耕地分布相对集中，而且在时间序列上有进一步增强的趋势，但耕地空间变化区域差异较为显著。3)耕地空间分布存在显著的全局空间正相关性，但局部空间异质性有所增强，耕地面积比例较高的空间单元集中分布在北部、西北部一带，并呈现出向西缩减的趋势，耕地面积比例较低的空间单元分布在以城镇为中心的建成区及边缘地带，并经历扩张与收缩两个阶段；2005—2013 年因城镇建设占用耕地和农村土地整治影响而出现局部异质性“热点”与“冷点”区域。该研究结果在一定程度上为掌握区域耕地空间变化趋势、制定耕地保护与优化布局政策提供理论方法和参考借鉴。

关键词 耕地空间分布 核密度 耕地集中度指数 空间自相关 地理信息技术

中图分类号: F323.211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)03-0325-10

Analysis of spatial distribution pattern and evolutionary characteristics of cultivated lands based on spatial autocorrelation model and GIS platform*

— A case study of Longquanyi District, Chengdu, China

REN Ping, WU Tao, ZHOU Jieming

(Key Lab of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education / Collaborative Innovation Center for Land Resources Development and Protection, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China)

Abstract Cultivated lands are among the most fundamental resources for the existence and development of mankind. Scientific analysis of the spatial distribution patterns and evolutionary characteristics of cultivated lands is highly useful in the protection and resource optimization of cultivated lands. Working on such research project, this paper extracted cultivated land data from the 2005, 2009 and 2013 land use data of the Longquanyi District of Chengdu, China, and calculated the kernel density, concentration index of cultivated land and conducted spatial autocorrelation analysis by using GIS platform. The results suggested that: 1) the evolution of cultivated lands in 2005–2013 in the study area was driven by aggregation. Spatially, cultivated land densities in the northwestern and northern regions were higher than those in the southern and central regions.

* 国家自然科学基金项目(41301196)资助
任平，主要从事国土资源管理与生态环境效应研究。E-mail: pren121680@126.com
收稿日期: 2015−10−10 接受日期: 2015−12−07

* Sponsored by the National Natural Science Foundation of China (No.41301196)
Corresponding author, REN Ping, E-mail: pren121680@126.com
Received Oct. 10, 2015; accepted Dec. 7, 2015

chinaXiv:201711.00301v1

ChinaXiv合作期刊

Regions with higher cultivated land density apparently expanded from northwest to southwest, while regions with lower cultivated land density sporadically expanded from urban to rural area. 2) For distribution of cultivated lands, feature land density in the north was generally higher than that in the south. The distribution of cultivated lands was relatively concentrated, with more concentrated years in terms of the time series, but with more significant variation in the spatial differentiations among the regions. 3) There was a significant spatial autocorrelation for global distribution, with strengthening heterogeneity for local distribution of cultivated lands in the study area. Spatial units with higher proportion of cultivated lands was concentrated in the northern and northwestern regions and reduced westwards from year to year. The units with lower proportions of cultivated lands were more distributed at built-up areas and suburbs surrounding the urban centers, with two stages of expansion and contraction. Because of urban expansion and rural land consolidation in 2005–2013, there were hot spots and cold spots in different localities of the distributed cultivated lands. This study provided the theoretical methods and references for determining the dynamic evolution of regional cultivated lands and developing relevant policies for protection and resource optimization of cultivated lands.

Keywords Spatial distribution of cultivated land; Kernel density; Concentrating index of cultivated land; Spatial autocorrelation; GIS

chinaXiv:201711.00301v1

耕地资源作为人类生存和发展的基础性资源，在我国人多地少的现实国情下，其在保障国家和地区粮食安全方面具有重要的作用。强化耕地资源保护是我国的基本国策，而在我国新型城镇化、工业化发展过程中，耕地资源不可避免被大量占用[1−2]，耕地的转用作为土地利用变化的重要内容之一，自然成为协调人口、资源与环境矛盾的关注重点。近年来，我国在城镇化与工业化发展过程中，由于城镇建设占用、农业内部结构调整、生态退耕还林还草以及自然灾害损毁等原因，耕地资源呈现出持续减少的态势，耕地质量有所下降，加上我国后备耕地资源严重不足，进一步加剧了我国经济社会发展、人口增长与耕地资源保护的矛盾。受社会经济发展的地域差异影响，耕地被占用引起的空间变化一定程度上导致粮食生产格局发生变化[3−4]，也进一步导致地域性粮食安全问题较为突出。这些现实问题加大了我国耕地资源保护与粮食安全保障的压力，在耕地资源保护与城镇化、工业化等矛盾日益突出的情况下，不利于我国社会经济的可持续发展。因此，正确揭示耕地资源空间形态分布格局及其动态变化规律，把握其空间演变的主要影响因素，对促进耕地空间优化布局与合理利用等方面具有重要的理论与参考价值。

目前有关耕地资源空间格局方面的研究主要集中在耕地时空变化[5−7]、耕地空间分布格局及形态变化[8−12]、耕地变化驱动机制[13−18]以及耕地变化预测[19−21]等方面。学者们的研究区域从国家[22−23]、大区域[2,11]、省级[10,24]宏观层面向市县[7,12,25]中观层面进一步扩展；传统的数学研究方法与空间数据分析、地统计分析等方法应用广泛[12,18,26]，同时部分学者基于数据重构对特定历史时期耕地资源的空间分布特征进行研究[27−28]；在数据类型方面，主要以高分辨率、高精度的土地利用/覆被变化数据为主。这些丰硕的研究成果为耕地空间分布格局研究提供了重要参考借鉴，但目前在以下方面仍存在不足：传统的研究主要是以宏观、中观层面为主揭示耕地空间分布现状，缺乏动态变化规律性问题的揭示；在传统的耕地空间分布格局研究中，缺乏对耕地空间分布的空间关联性问题的揭示。基于此，本文以成都市龙泉驿区为研究区域，以行政村为地理单元，主要选取 2005 年、2009 年和 2013 年土地利用现状数据，运用核密度计算、耕地集中度指数和空间自相关等研究方法从微观层面，通过对比不同时期耕地空间分布格局来分析龙泉驿区耕地空间分布格局动态变化规律及其特征，以期为耕地动态变化监测、耕地保护与空间优化布局提供理论和实践参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

龙泉驿区位于成都市中心城区东南部、龙泉山脉中段，是成都市东部副中心和东部主城区，属于典型的大都市发展边缘区域。境内地质构造较为复杂，属于地层断陷带与山地褶皱隆起带之间的构造板块，西部以平原为主，东部山地、丘陵交叉分布，平原、丘陵、山地分别占全区面积的 57.07%、2.86%、39.07%，属于成都平原向川东平行岭谷山地的过渡带。全区幅员面积 555.75 km^2，下辖 4 个街道办事处、7 个镇和 1 个乡，共 128 个行政村。龙泉驿区作为成都市近郊区，近年来社会经济发展较快，2013 年全区地区生产总值达 837.06 亿元，较上年同比增长 19.0%，一二三产业结构比例为 3∶81∶16，第二产业占绝对优势，人均 GDP 达 106 112 元，增长 17.2%。2013 年全区户籍总人口达 61.49 万人，其中非农业人口 31.9 万人，城镇化率达 51.88%。近年来，

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.00301v1

龙泉驿区结合国家级经济技术开发区和城东副中心的区位优势，大力发展以汽车产业为主导的工业经济，城镇发展较为迅速，对建设用地需求日益加大；而另一方面龙泉驿区结合生态建设的战略要求，以“生态移民”为载体大力推进农村土地整治与农业结构调整，促进农民向城镇转移，在此过程中龙泉驿区耕地空间分布形态、规模等发生了较大变化，这也为本文开展研究提供了现实基础。

1.2　数据来源及预处理

本研究所采用的数据主要包括龙泉驿区 2005 年、2009 年、2013 年比例尺为 1∶1 000 的土地利用现状数据，龙泉驿区以行政村为空间单元的行政边界矢量图，其中土地利用现状数据分别从由四川省国土勘测规划研究院提供的 2005 年与 2009 年成都市土地利用现状数据库、2013 年成都市土地利用现状变更数据库中提取。首先根据 ArcGIS 9.3 中 Analysis tools 下的 Select 工具提取 2005 年、2009 年和 2013 年耕地要素图层，然后运用 Identify 工具对耕地要素与行政村边界矢量图叠加，为下文研究提供数据基础。

2　研究方法

2.1　耕地集中度指数

耕地集中度指数的基本概念源引于地理集中指数[29−30]，是指耕地在空间地域上集中程度的测度指标，主要用于分析耕地在空间上的分布状况，耕地集中指数越大，表明耕地在空间地域上分布越集中，反之，则越分散。耕地集中指数计算模型如下[31]:

$$G = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i / T\right)^2} \tag{1}$$

式中: G 为耕地集中指数，x_i 为 i 空间区域耕地分布面积，T 为耕地总面积，n 为空间区域个数。

2.2　核密度计算

核密度计算方法是一种非参数密度估计的统计方法，是热点和冷区识别和分析的一种有益的探测性的方法[32]。在耕地空间分布研究中，核密度计算根据输入的耕地数据来测算整个研究区域耕地集聚的状况，通常核密度测算值越高，则耕地空间分布密度也越大。一般将核密度定义为：设定 x_1、x_2、…、x_n 是从分布密度函数 f 的总体中抽取的独立同分布样本，估计 f 在某点 x 处的值，通常采用的 Rosenblatt-Parzen 核测算模型[33]:

$$f_n = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n} k\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \tag{2}$$

式中: f_n 为耕地地块分布核密度测算值，n 为耕地地块的数量，k 为核密度函数，$x - x_i$ 为测算耕地地块 x 到样本耕地地块 x_i 处的距离，h 为核密度测算带块的平滑参数。

2.3　空间自相关

2.3.1　全局空间自相关

全局空间自相关是对地理要素属性值在整个区域的空间特征描述，通常采用对全局 Moran’s I 指数、全局 Geary’s C 和全局 Getis-Ord G 等统计量的估计来分析区域总体空间关联和空间差异的平均程度[34]。本文选取全局 Moran’s I 指数来测度各行政村耕地面积比例(耕地面积占行政村面积的比例)的全局空间自相关程度，计算模型如下[35]:

$$\text{Moran's } I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}\left(x_i - \bar{x}\right)\left(x_j - \bar{x}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \tag{3}$$

式中: n 为行政村空间单元总数，x_i、x_j 分别为耕地面积比例在空间地域单元 i 和 j 上的观测值，$\bar{x}$ 为研究区耕地面积比例，w_{ij} 为空间权重矩阵。标准化 Z 值常用于检验全局 Moran’s I 指数的显著性水平，其计算公式如下[35]:

$$Z_{\text{score}} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}} \tag{4}$$

式中: $E(I)$、$\text{VAR}(I)$ 分别表示 Moran’s I 的期望值和方差。当 $Z_{\text{score}}>1.96$ 或 $Z_{\text{score}}<-1.96(\alpha=0.05)$ 时，表明空间单元的耕地面积比例在空间上存在显著的空间自相关性。全局 Moran’s I 的取值介于[−1, 1]，在给定的显著性水平下，若 Moran’s $I>0$，表明存在正的空间自相关，即耕地面积比例较高(或较低)的区域在空间上显著聚集；若 Moran’s $I<0$，则相反。

2.3.2　局部空间自相关

全局空间自相关是对整个区域耕地分布的空间自相关程度进行描述，但在研究区域范围内不同的空间单元与邻近区域在空间自相关水平上存在一定差异，全局空间自相关并不能对其进行有效表达。局部空间自相关则是研究区域范围内各空间单元在位置上与各自邻近单元属性的相关性[36]，可以有效分析不同空间单元与邻近区域空间差异程度及其显著水平。本文选取与全局空间自相关相对应的局部 Moran’s I 指数来测度研究区域内部行政村耕地的空间分布情况及度量某空间单元与周围邻近单元的空间差异程度。其计算模型如下[37]:

$$\text{Moran's } I = \frac{\left(x_i - \bar{x}\right)\sum_{j=1}^{m} w_{ij}\left(x_j - \bar{x}\right)}{S^2} \tag{5}$$

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.00301v1

$$S^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \tag{6}$$

式中：x_i、x_j 分别为耕地面积比例在空间地域单元 i 和 j 上的观测值，$\bar{x}$ 为研究区耕地面积比例，w_{ij} 为空间权重矩阵，S^2 为空间单元耕地面积比例的方差，n 为行政村个数，m 为空间单元 i 的邻近单元个数。通常在给定的显著水平下(通常取 α=0.05)，如果局部 Moran's I>0，则表示耕地分布空间差异小，说明存在空间集聚现象；若局部 Moran's I<0，则说明耕地分布存在空间显著性差异。

3　结果与分析

3.1　耕地区域分布及变化特征

从龙泉驿区耕地面积区域空间分布状况来看(见图 1)，耕地分布较多的乡镇包括北部的西河镇、黄土镇，其次为东部洛带镇、万兴乡以及西部大面街道办事处，而南部的柏合镇、中部的龙泉街道办事处与同安街道办事处耕地分布较少，整体呈现出北高南低的空间分布特征。从不同时间点来看，龙泉驿区耕地空间变化区域差异也较为明显，具体表现为：2005—2013 年北部西河镇、黄土镇因农村土地整治、农业结构调整而耕地面积呈大幅递增趋势；洛带镇前期耕地面积变化不明显，而后期因农村居民点整理搬迁复垦而耕地面积快速增加；洪安镇、大面街道办事处耕地受农村土地整治与城镇发展建设双重作用而有所增加，但增幅并不明显；十陵街道办事处、龙泉街道办事处以及同安街道办事处因城镇发展建设出现耕地减少的情况，但减少幅度不大；而万兴乡、茶店镇、山泉镇、柏合镇存在零星农村居民点整理的情况，但由于农业结构调整，耕地变化并不明显。从总体变化的空间特征来看，耕地面积增加区域主要集中在北部、东北部地区及西部大面街道办事处，耕地面积减少区域集中在中部南部地区及西北部十陵街道办事处。

假定龙泉驿区耕地面积处于均匀分布状态下，其耕地集中指数为 8.84，而实际上运用 ArcGIS 9.3 以行政村为空间单元统计耕地面积计算出的 2005 年、2009 年、2013 年耕地集中指数分别为 14.32、14.72、14.89，表明龙泉驿区耕地在空间分布上较为集聚，而且在时间序列上有进一步增强的趋势。

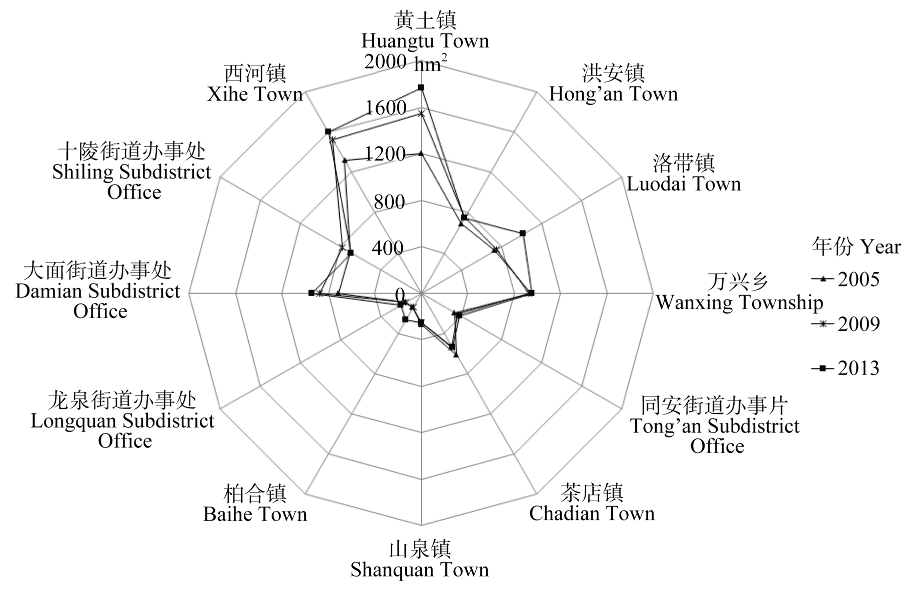


图 1　龙泉驿区耕地面积区域空间分布图

Fig. 1　Spatial distribution of cultivated land area at village level in Longquanyi District

3.2　耕地密度空间分布及变化特征

在 ArcGIS 9.3 中，首先利用 Feature to point 工具，将不同年份的耕地面状数据转化为点状，然后利用 Kernal Density 工具完成点状耕地地块的核密度值测算。以 2005 年为基础年，采用 Natural Breaks (自然间距分类)方法对 2005 年耕地地块空间分布核密度测算值进行等级划分，划分的 5 个等级依次为 0~29 块·km^{-2}、29~69 块·km^{-2}、69~122 块·km^{-2}、122~188 块·km^{-2} 和 188~341 块·km^{-2}, 2009 年、2013 年则以此为依据以 29 块·km^{-2}、69 块·km^{-2}、122 块·km^{-2}、188 块·km^{-2} 为临界点进行等级划分，最后生成龙泉驿区不同年份耕地核密度测算值空间分布图，如图 2 所示。

从图 2 可以看出，2005 年、2009 年、2013 年龙泉驿区耕地空间分布核密度测算最大值分别为 341 块·km^{-2}、374 块·km^{-2}、389 块·km^{-2}，说明在龙泉驿区部分区域 2005—2013 年耕地地块空间分布数量明显增加，且表现出递增的趋势。从耕地核密度测

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.00301v1

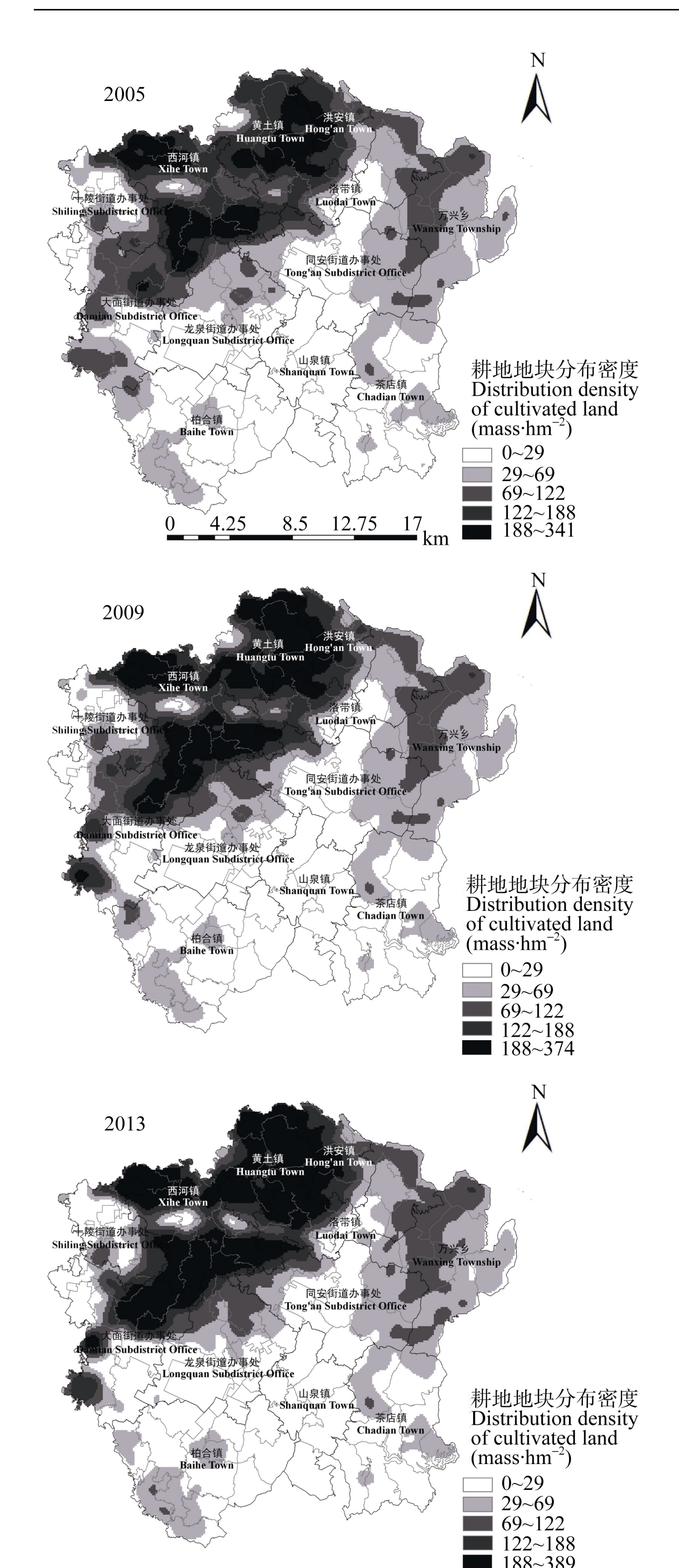


图 2　2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区耕地核密度测算值空间分布图

Fig. 2　Spatial distribution of kernel density of cultivated land in Longquanyi District in 2005, 2009 and 2013

算值空间分布情况来看: 1)3 个年份耕地核密度测算值高值区域均主要集中在地势平坦的平坝区域, 包括龙泉驿区西北部、北部的黄土镇与西河镇大部、洛带镇西部、大面镇东北部与西南部小部分区域; 中值区域主要集中在东北部及东部山区地带, 包括洛带镇东部、万兴乡大部以及茶店镇北部区域; 而低值区域主要集中包括龙泉、同安、大面、十陵 4 个街道办事处和山泉、柏合 2 个镇及茶店镇南部的区域。由此可以看出, 龙泉驿区 3 个年份耕地核密度测算值空间分布呈现出相似的空间格局, 整体呈现出西北及北部区域密集, 中部及南部稀疏的空间分布特征。2)2005—2013 年耕地地块含 188 块·km^{-2} 以上的区域以黄土镇三村村、西河镇龙井村、东风村为中心点呈现出中心扩散的趋势, 且趋于集中连片分布; 而 122~188 块·km^{-2} 的部分区域呈现出向 188 块·km^{-2} 以上类型转化, 但其连续分布的外围区域整体变化不大; 含耕地地块 69~122 块·km^{-2} 的区域在中部、东部区域有所扩展, 发生扩展的区域包括中部区域龙泉街道办事处顶佛寺村、平安村, 同安街道办事处阳光村、红星村以及西河镇的大龙村、黄龙村等, 东部区域万兴乡公平村、大石村、大湾村、鲤鱼村、止马店村以及同安街道办事处的草坪村、新桥村等; 而对于核密度测算值相对较低的区域, 仅部分区域出现了零星扩展或收缩, 整体没有太大变化。3)从核密度测算值空间变化趋势来看, 2005—2013 年核密度测算值高值区域呈现出由西北向西南扩张的趋势, 主要集中在十陵、大面以及龙泉街道办事处边界区域; 而低值区域则主要以城镇为中心有零星扩展的情况。

根据上文的分析可以判定, 龙泉驿区耕地分布密度较大的区域分布较为集中, 主要分布在西北部及北部平原区域, 包括黄土镇、西河镇、洛带镇东部、大面街道办事处东部以及龙泉街道办事处北部, 东部山区地带包括洛带镇东部、万兴乡大部区域, 但东部山区耕地分布密度明显低于西北部及北部平原地区, 这也说明耕地在空间分布上受地形条件作用明显。

3.3　耕地分布空间关联性分析

3.3.1　全局空间自相关

在 ArcGIS 9.3 中运用 Spatial join 工具将不同年份的耕地地块属性与行政村进行关联, 然后利用 Field Calculator 计算各行政村的耕地面积比例, 最后运用 Geoda 软件计算出龙泉驿区 2005 年、2009 年和 2013 年 128 个行政村耕地面积比值的全局 Moran's *I* 指数, 并对其进行显著性检验, 结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区行政村耕地面积比例值的全局 Moran's *I* 指数均远大于 0, 对比标准化 Z_{score} 值与显著水平的临界

ChinaXiv合作期刊

表 1 2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区行政村耕地面积比例值的全局 **Moran's *I*** 指数与检验

Table 1 Global Moran's *I* and tests for the areal proportion of cultivated land at village level in Longquan District in 2005, 2009 and 2013

年份 Year	Moran's *I*	Z_{score}	阈值 Threshold value (α=0.05)
2005	0.565 9	9.907	1.96
2009	0.576 0	10.174	1.96
2013	0.607 8	10.819	1.96

值, 2005 年、2009 年和 2013 年分别为 9.907、10.174 和 10.819, 均明显大于检验临界值 1.96, 通过了显著性水平 α=0.05 的检验, 说明 3 个年份龙泉驿区各行政村耕地面积比例值呈现出显著的空间自相关性, 表现出显著的集聚分布态势, 即耕地面积比例高的行政村其周围区域耕地面积比例也高, 反之, 耕地面积比例低的行政村周围区域耕地面积比例也低。从全局 Moran's *I* 指数变化趋势来看, 3 个年份的空间自相关性逐年增强, 耕地面积比例高或低的行政村空间集聚分布的状态也呈现出递增的趋势。

3.3.2 局部空间自相关

从行政村耕地面积比例值的全局空间自相关分析来看, 龙泉驿区耕地在空间分布上呈现出集聚状态, 而且有进一步增强的趋势, 但在前面耕地密度及区域空间分布情况来看, 耕地分布在研究区域内部存在较大差异。基于此, 通过局部空间自相关来分析区域内 128 个行政村耕地面积比例空间自相关水平的差异性问题。

利用 Geoda 软件对龙泉驿区 2005 年、2009 年和 2013 年 128 个行政村耕地面积比例的局部 Moran's *I* 指数进行计算, 并以各行政村耕地面积比例的局部 Moran's *I* 值为横轴, 以耕地面积比例局部 Moran's *I* 值相对应的空间滞后向量值为纵轴, 绘制 2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区各行政村空间单元耕地面积比例观测值的局部 Moran's *I* 指数散点图, 如图 3 所示。

在图 3 中, 如果横坐标>0, 则空间单元为耕地面积比例观测值较高的行政村, 反之为比例观测值较低的行政村; 如果纵坐标>0, 则空间单元的邻近单元为耕地面积比例观测值较高的区域, 反之为较低的区域。根据图 3 所示, 将局部 Moran's *I* 散点图划分为 4 个象限: 第 1 象限为正相关的"高–高"类型区、第 2 象限为负相关的"低–高"类型区、第 3 象限为正相关的"低–低"类型区、第 4 象限为负相关的"高–低"类型区。

从图中可以看出, 2005—2013 年龙泉驿区行政村耕地面积比例局部 Moran's *I* 散点图表现出以下几方面的特征: 1)2005 年、2009 年和 2013 年属于"高–高"、"低–低"类型的行政村占主导地位, 其中 2005

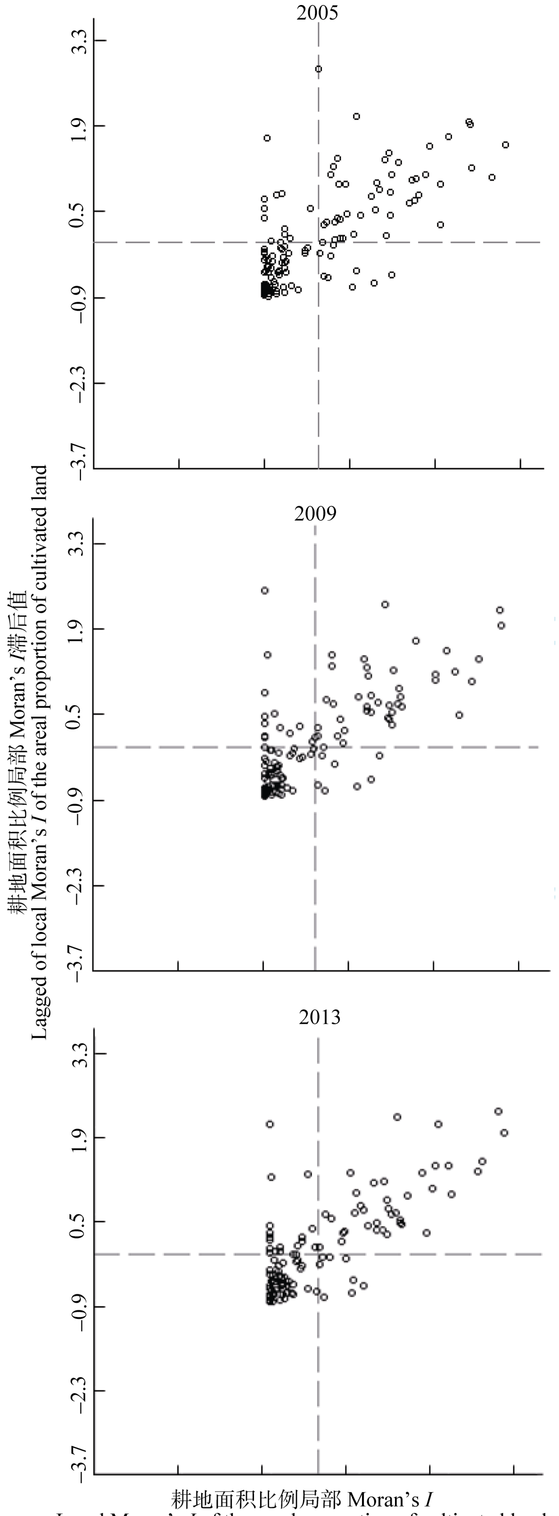


图 3 2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区行政村耕地面积比例局部 **Moran's *I*** 散点图

Fig. 3 Scatter-plots of local Moran's *I* for the areal proportion of cultivated land at village level in Longquanyi District in 2005, 2009 and 2013

年、2009 年和 2013 年分别为 105 个、107 个和 101 个, 即这些耕地面积比例高(或低)的区域呈现出空间集聚分布的特征, 而且属于"低–低"类型的行政村

chinaXiv:201711.00301v1

ChinaXiv合作期刊

集聚分布特征更为明显；而点位落入第 2、第 4 象限(即属于“低–高”、“高–低”类型)的行政村数量相对较少, 2005 年、2009 年和 2013 年分别为 23 个、21 个和 27 个。2)从不同时间段来看, 2009 年与 2005 年相比，属于“高–高”、“低–低”类型的行政村个数有所增加，即空间集聚分布的空间单元增加，相应地空间分异的空间单元减少，从图上也可以看出 2009 年属于“低–低”类型的行政村比 2005 年略微偏多，且点位分布相对密集，“高–高”类型区在第 1 象限的行政村个数有所减少，且点位趋于分散分布，但从整体变化来看，这一阶段可以概括为空间集聚范围收缩与扩散并存的阶段；2013 年与 2009 年相比，属于“低–高”、“高–低”类型的行政村单元个数有所增加，局部性的空间异质性在增强，从图上也可以看到特别是落在第 2 象限(属于“低–高”类型)的行政村数量有所增加，而这种异质性增强，意味着属于“高–高”和“低–低”类型的行政村空间单元范围在缩小，这在图中 2013 年与 2009 年的第 1、3 象限点位聚集程度有所反映，换言之，耕地面积比例高(或低)的区域在原有区域内部分行政村单元发生变化的情况下更倾向于局部集聚分布，这一阶段可以概括为以空间集聚范围收缩为主的阶段。3)从整体变化情况来看，行政村耕地面积比例观测值在空间上整体呈现集聚趋势，对比 2005 年、2009 年和 2013 年可以发现，各空间单元的数据点位整体倾向于分布在趋势线两侧，偏离趋势线较远的点位有所减少。

为更加直观表达龙泉驿区各行政村单元耕地面积比例自相关水平差异程度及其变化趋势，在 α=0.05 的显著性水平下，结合 ArcGIS 9.3 软件，将各空间单元归属的类型与相应的空间进行匹配绘制成 LISA 集聚图，以揭示空间单元与其邻近单元同质和异质的局部特征变化及其地理分布，如图 4 所示。

从图中可以看出, LISA 集聚图表现出以下特征:

1)“高–高”类型区。该类型区属于耕地面积比例高，周围邻近单元耕地面积比例也相应高的行政村空间单元，具体特征表现为这一类型区耕地面积比例值较高，且与其周围邻近单元空间差异较小，属于局部均质分布。2005—2013 年该类型区集中分布在龙泉驿区北部、西北部的西河镇、黄土镇、洪安镇一带区域，其类型区域范围呈现出向西缩减的趋势，说明在洛带镇东部、万兴乡大部区域行政村耕地面积比例在进一步下降。结合地形条件来看，该区域为龙泉驿区生态退耕还林的山地区域，这一变化说明生态建设对耕地空间变化产生较大影响，而

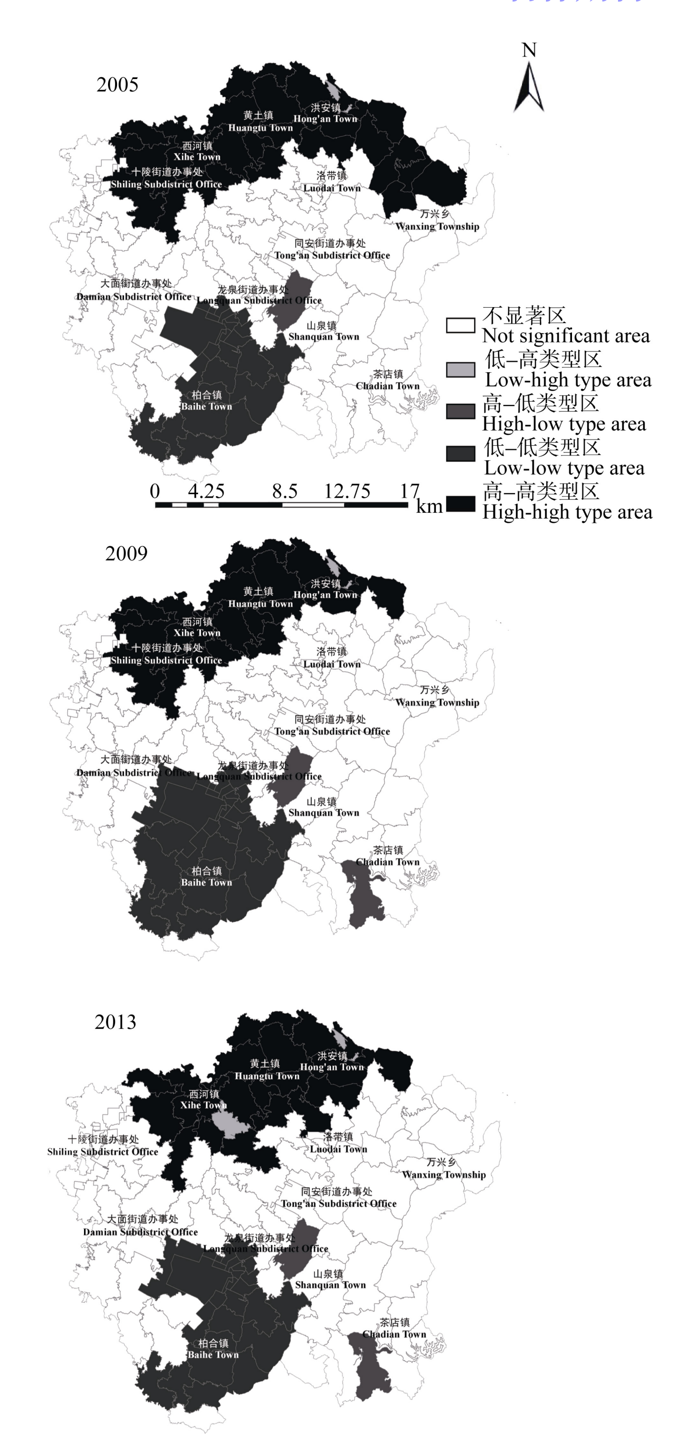


图 4　2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区行政村耕地面积比例 LISA 集聚图

Fig. 4　LISA plots for the areal proportion of cultivated land at village level in Longquanyi District in 2005, 2009 and 2013

在洛带镇西北部、西河镇东南部区域由于耕地整理出现了“高–高”类型区增加的情况。此外，该类型区域除了缩减外, 2013 年西河镇鹿角社区由“高–高”类型转变为“低–高”类型，而该社区为西河镇城镇建设区，说明城镇建设导致鹿角社区耕地面积比例减少，也进一步增强了该大区域范围的内部异质性。

2)“低–低”类型区。该类型区属于耕地面积比例

chinaXiv:201711.00301v1

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.00301v1

低，周围邻近单元耕地面积比例也低的行政村空间单元，表现为空间单元与其周围区域耕地面积比例均偏低，其局部性空间差异较小，在空间上仍呈现出集聚分布的状态，该区域范围主要集中在以龙泉街道办事处为腹地的城镇建成区及其边缘地带。从图上可以看出，这种类型区域在 2005—2013 年的不同阶段变化存在差异，其中 2009 年的区域范围比 2005 年有所扩大，到 2013 年该区域范围又有所缩减，这种变化的差异与龙泉驿区柏合镇前期城镇建设、农业产业结构调整以及后期土地整理存在较大关系，表现为前一阶段因城镇建设占用、农业产业结构调整导致该区域部分行政村耕地面积比例降低，而出现“低–低”类型区扩散的情况，后一阶段则因农村土地整治推进行政村农村居民点拆迁复垦为耕地导致“低–低”类型区收缩的情况，这与前文所述的空间聚集扩散阶段与收缩阶段内容基本一致。

3)“高–低”类型区。该类型区属于耕地面积比例高，其周围邻近单元耕地比例却相对较低的行政村空间单元，呈现出空间负相关性，空间异质性较强。该类型区在空间上分布并不明显，而且整体变化不大，仅 2009 年与 2005 年相比，该类型区新增茶店镇的照壁村，该村借助于邻近龙泉湖景区的区位优势通过发展农家乐旅游业、推进生态农业发展而保有较高比例的耕地，而且该村耕地比例与周围邻近区域相比占有明显优势，成为空间异质性“冷点”区域。

4)“低–高”类型区。该类型区属于耕地面积比例低，其周围邻近单元耕地比例却相对较高的行政村空间单元，其空间关系呈现出负相关性，空间异质性较强，具体表现为耕地面积比例较低，而其周围邻近单元耕地比例明显偏高，形成局部的空间异质性“热点”区域。从图上可以看出，这一类型区的行政村空间单元数较少，2009 年与 2005 年相比没有发生变化，其局部空间异质性“热点”区域均为洪安镇洪安火车站社区与文安场社区，2013 年则增加了由“高–高”类型转变为“低–高”类型的西河镇鹿角社区，该行政村由于位于西河镇城镇建成区内部，随城镇建设而耕地比例有所减少，因此成为新的空间异质性“热点”区域。

4 结论与讨论

本文基于 GIS 空间分析方法，运用核密度计算、耕地集中度指数以及空间自相关对龙泉驿区耕地空间分布格局特征进行分析，并对比 2005 年、2009 年和 2013 年耕地空间格局变化，提炼龙泉驿区耕地空间分布格局变化趋势及特征。主要研究结论如下：

1)从耕地核密度测算值空间分布来看，2005 年、2009 年和 2013 年龙泉驿区耕地空间分布密度呈现出集聚态势，而且在进一步增强，密度高值区域主要集中分布在龙泉驿区西北部、北部平原区，整体呈现出西北及北部区域密集、中部及南部稀疏的空间分布特征。耕地分布密度高值区域呈现出由西北向西南扩张的趋势，而低值区域则主要以城镇为中心有零星扩展的情况。2005—2013 年东部山区地带耕地空间分布密度有所增大，但其密度明显低于西北部及北部平原区，说明地形条件对耕地空间分布产生了重要影响。

2)从耕地面积区域空间分布状况看，龙泉驿区耕地面积整体呈现出北高南低的空间分布特征，耕地分布相对集中，且在时间序列上有进一步增强的趋势。但在不同时期耕地变化存在较大的区域差异性，耕地面积增加区域主要集中在北部、东北部地区及西部大面街道办事处，耕地面积减少区域集中在中部南部地区及西北部十陵街道办事处。

3)在全局空间区域上，龙泉驿区耕地空间分布存在显著的空间正相关性，即耕地面积比例高值或低值的行政村在空间上表现出明显的集聚状态，而且这种空间正相关性在进一步增强，但局部空间异质性有所增强。耕地面积比例高值集群区域分布在北部、西北部一带，并呈现出向西缩减的趋势；耕地面积比例低值集群区域分布在以城镇为中心的建成区及边缘地带，并经历空间扩散与收缩两个阶段。2005—2013 年因城镇建设占用耕地及农村土地整治出现局部异质性“热点”与“冷点”区域，分别位于西河镇鹿角社区和茶店镇照壁村。

作为人类生存和发展的基础性资源，耕地资源保护必须立足于耕地空间分布及其演变格局的科学研究。本文基于 GIS 和空间自相关模型，从微观视角分析了龙泉驿区耕地空间分布格局及其演变特征，突出了耕地空间分布的动态变化趋势及其空间分布关联性，一定程度上能为耕地保护和合理布局提供参考，同时也对传统研究中缺乏耕地动态变化规律与空间分布关联性分析等问题进行了补充。此外，从本文的研究中也反映出了一些因素对耕地分布的空间演变产生影响，具体表现为：东部山区耕地空间分布密度明显低于西北部平原区，说明地形条件对耕地空间分布产生影响；城镇边缘地带存在耕地明显减少的情况，这基本上与龙泉驿区城镇扩展及城镇边缘地带乡村旅游发展促使耕地转化的实际相符合；耕地核密度测算值空间分布、区域分布及其

ChinaXiv合作期刊

变化反映了耕地分布在空间位置、形态、规模等方面均发生了不同程度变化，与龙泉驿区“生态移民”和农业结构调整政策实施的空间位置基本一致。但从另一方面来看，耕地空间演变受自然、社会经济、政策制度等多种因素综合影响，而且不同时期其作用机制存在差异，要做到精细化、定量化、动态化表达，仍需要进一步探索和研究。

参考文献 References

[1] 曲福田，陈江龙，陈雯．农地非农化经济驱动机制的理论分析与实证研究[J]．自然资源学报, 2005, 20(2): 231–241
Qu F T, Chen J L, Chen W. Theoretical and empirical study on the land conversion economic driving forces[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(2): 231–241

[2] 孟鹏，郝晋珉，周宁，等．黄淮海平原城镇化对耕地变化影响的差异性分析[J]．农业工程学报, 2013, 29(22): 1–10
Meng P, Hao J M, Zhou N, et al. Difference analysis of effect of rapid urbanization on cultivated land changes in Huang-Huai-Hai Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(22): 1–10

[3] 关兴良，方创琳，鲁莎莎．中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析[J]．自然资源学报，2010，25(12): 1997–2006
Guan X L, Fang C L, Lu S S. Analysis of spatial distribution and gravity centers curve dynamic cultivated land changes in China[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(12): 1997–2006

[4] 洪舒蔓，郝晋珉，周宁，等．黄淮海平原耕地变化及对粮食生产格局变化的影响[J]．农业工程学报，2014，30(21): 268–277
Hong S M, Hao J M, Zhou N, et al. Change of cultivated land and its impact on grain production pattern in Huang-Huai-Hai Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(21): 268–277

[5] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1990[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(4): 997–1027

[6] 赵晓丽，张增祥，汪潇，等．中国近 30a 耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]．农业工程学报, 2014, 30(3): 1–11
Zhao X L, Zhang Z X, Wang X, et al. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(3): 1–11

[7] 谭雪兰，段建南，朱红梅，等．长沙市耕地变化的时空特征及其驱动力分析[J]．中国农学通报, 2012, 28(2): 240–244
Tan X L, Duan J N, Zhu H M, et al. Temporal and spatial characteristics and driving forces of cultivated land in Changsha City[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(2): 240–244

[8] Guan D J, Gao W J, Watari K, et al. Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model[J]. Journal of Geographical Sciences, 2008, 18(4): 455–468

[9] 曹隽隽，周勇，叶青清，等．江汉平原耕地资源空间格局变化分析[J]．经济地理, 2013, 33(11): 130–135
Cao J J, Zhou Y, Ye Q Q. Analysis of spatial pattern changes of cultivated land resource in Jianghan Plain[J]. Economic Geography, 2013, 33(11): 130–135

[10] 王雪娜，周阳品，黄光庆，等．广东省耕地资源时空变化分析[J]．农机化研究, 2010, 32(6): 39–44
Wang X N, Zhou Y P, Huang G Q, et al. Spatial and temporal change analysis of cultivated land in Guangdong Province[J]. Journal of Agricultural, 2010, 32(6): 39–44

[11] 郭丽英，李刚．环渤海地区城镇化进程中耕地面积及其重心转移格局分析[J]．中国农业资源与区划，2013，34(4): 32–36
Guo L Y, Li G. Analysis of spatial pattern on farmland area change and the gravity center transfer under urbanization of Bohai Rim[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2013, 34(4): 32–36

[12] 高凯，周志翔，杨玉萍，等．基于 Ripley K 函数的武汉市景观格局特征及其变化[J]．应用生态学报，2010，21(10): 2621–2626
Gao K, Zhou Z X, Yang Y P, et al. Characteristics and changes of landscape pattern in Wuhan City based on Ripley's K function[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2621–2626

[13] Skinner M W, Kuhn R G, Joseph A E. Agricultural land protection in China: A case study of local governance in Zhejiang Province[J]. Land Use Policy, 2001, 18(4): 329–340

[14] Kline J D, Alig R J. Does land use planning slow the conversion of forest and farmlands[J]. Growth and Change, 1999, 30(1): 3–22

[15] 曹银贵，袁春，周伟，等．中国耕地变化的驱动因子及其省域差异分析[J]．中国土地科学, 2008, 22(2): 17–22
Cao Y G, Yuan C, Zhou W, et al. Analysis on driving forces and provincial differences of cultivated land Change in China[J]. China Land Science, 2008, 22(2): 17–22

[16] 刘彦彤，张延军，赵玲．长春市耕地动态变化及其驱动力分析[J]．地理科学, 2011, 31(7): 868–873
Liu Y T, Zhang Y J, Zhao L. Dynamic changes of cultivated land in Changchun City and their driving forces[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(7): 868–873

[17] 文继群，濮励杰，张润森．耕地资源变化的空间计量及其驱动力分析——以江苏省为例[J]．长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 628–634
Wen J Q, Pu L J, Zhang R S. A spatial econometric analysis on differential changes and driving forces of arable land — A case study of Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(5): 628–634

[18] 柯新利，邓祥征，刘成武．基于分区异步元胞自动机模型的耕地利用布局优化——以武汉城市圈为例[J]．地理科学进展, 2010, 29(11): 1442–1450
Ke X L, Deng X Z, Liu C W. Interregional farmland layout optimization model based on the partition asynchronous cellular automata: A case study of the Wuhan City Circle[J]. Progress in Geography, 2010, 29(11): 1442–1450

[19] 车明亮，聂宜民，刘登民，等．区域耕地数量变化预测方法的对比研究[J]．中国土地科学, 2010, 24(5): 13–18
Che M L, Nie Y M, Liu D M, et al. Comparison on the methods for predicting regional cultivated land quantity changes[J]. China Land Science, 2010, 24(5): 13–18

[20] 杨银峰，石培基，吴燕芳．灰色系统理论模型在耕地需求量预测中的应用[J]．统计与决策, 2011(9): 159–161

chinaXiv:201711.00301v1

ChinaXiv合作期刊

Yang Y F, Shi P J, Wu Y F. Application of the theory of gray system model in cultivated land requirement forecasting[J]. Statistics & Decision, 2011(9): 159–161

[21] 张豪, 罗亦泳, 张立亭, 等. 基于遗传算法最小二乘支持向量机的耕地变化预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 226–231
Zhang H, Luo Y Y, Zhang L T, et al. Cultivated land change forecast based on genetic algorithm and least squares support vector machines[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 226–231

[22] 田光进, 庄大方, 刘明亮. 近 10 年中国耕地资源时空变化特征[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 30–36
Tian G J, Zhuang D F, Liu M L. The spatial-temporal dynamic change of cultivated in China in 1990s[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(1): 30–36

[23] 刘旭华, 王劲峰, 刘明亮, 等. 中国耕地变化驱动力分区研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, 35(11): 1087–1095
Liu X H, Wang J F, Liu M L, et al. Spatial heterogeneity of the driving forces of cropland change in China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 35(11): 1087–1095

[24] 彭文甫, 周介铭. 近 50 年四川省耕地变化分析[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 79–85
Peng W F, Zhou J M. Change of cultivated land area in Sichuan Province[J]. Resources Science, 2005, 27(3): 79–85

[25] 田森. 城乡结合部耕地变化及驱动力研究——以河南省内黄县为例[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013
Tian S. Research on the driving force and the cultivated land change of the urban-rural fringe zones — Taking the Neihuang County in Henan Province as an example[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013

[26] 曾凌云, 王钧, 王红亚. 基于 GIS 和 Logistic 回归模型的北京山区耕地变化分析与模拟[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 165–170
Zeng L Y, Wang J, Wang H Y. Analysis and simulation of cultivated land conversion and distribution in Beijing mountainous areas based on GIS and Logistic regression model[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2009, 45(1): 165–170

[27] 姜蓝齐, 张丽娟, 臧淑英, 等. 清末耕地空间分布格局重建方法比较[J]. 地理学报, 2015, 70(4): 625–635
Jiang L Q, Zhang L J, Zang S Y, et al. Comparison of approaches of spatially explicit reconstruction of cropland in the late Qing Dynasty[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 625–635

[28] 罗静, 陈琼, 刘峰贵, 等. 青藏高原河谷地区历史时期耕地格局重建方法探讨——以河湟谷地为例[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 207–216
Luo J, Chen Q, Liu F G, et al. Methods for reconstructing historical cropland spatial distribution of the Yellow River — Huangshui River valley in Tibetan Plateau[J]. Progress in Geography, 2015, 34(2): 207–216

[29] Ellision G, Glaeser E L. Geographic concentration in U. S. manufacturing industries: A dartboard approach[J]. Journal of Urban Economics, 2000, 9(5): 48–67

[30] 钟业喜, 陆玉麒. 鄱阳湖生态经济区人口与经济空间耦合研究[J]. 经济地理, 2011, 31(2): 195–200
Zhong Y X, Lu Y Q. The coupling relationship between population and economic in Poyang Lake ecological economic zone[J]. Economic Geography, 2011, 31(2): 195–200

[31] 李林山, 杨青山, 刘贺贺, 等. 吉林省中部城市群城市区位与区域均衡发展关系研究[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(2): 25–29
Li L S, Yang Q S, Liu H H, et al. Relationship between the city location and regional balanced development of Jilin central urban agglomeration[J]. Areal Research and Development, 2014, 33(2): 25–29

[32] 李红波, 张小林, 吴江国, 等. 苏南地区乡村聚落空间格局及其驱动机制[J]. 地理科学, 2014, 34(4): 438–446
Li H B, Zhang X L, Wu J G, et al. Spatial pattern and its driving mechanism of rural settlements in southern Jiangsu[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(4): 438–446

[33] 王远飞, 何洪林. 空间数据分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 6–71
Wang Y F, He H L. Spatiotemporal Data Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2007: 6–71

[34] 聂艳, 罗毅, 于婧, 等. 基于空间自相关的湖北省耕地压力时空演变特征[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(1): 112–116
Nie Y, Luo Y, Yu J, et al. Researches on spatio-temporal variation characteristic of pressure of cultivated land in Hubei Province based on spatial autocorrelation[J]. Areal Research and Development, 2013, 32(1): 112–116

[35] 谢花林, 李秀彬, 张燕婷, 等. 基于 ESDA 的京津冀地区草地变化空间分异[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1224–1232
Xie H L, Li X B, Zhang Y T, et al. Spatial difference of regional grass changes based on ESDA at county level in Beijing-Tianjin-Hebei area[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(7): 1224–1232

[36] 李海蓉, 阚瑷珂. 攀枝花市人口分布与道路设施布局空间自相关研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(20): 281–285
Li H R, Kan A K. Study on the spatial autocorrelation of the population distribution and road facility layout in Panzhihua City[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(20): 281–285

[37] 孟欢欢, 李同昇, 于正松, 等. 安徽省乡村发展类型及乡村性空间分异研究[J]. 经济地理, 2013, 33(4): 144–148
Meng H H, Li T S, Yu Z S, et al. Rurality and correlation analysis of the county economy in Anhui Province[J]. Economic Geography, 2013, 33(4): 144–148

chinaXiv:201711.00301v1